

Perencanaan Jaringan Drainase Sub Sistem Kali Bokor Surabaya

Dadang Anugrananto, Dr. Techn. Umboro Lasminto, ST., M.Sc, dan Nastasia Festy Margini, ST., MT.
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: dadang129@gmail.com, umboro_hydro@yahoo.com, dan cia.hidroits@gmail.com

Abstrak - Saluran Kalibokor di Surabaya Timur mengalami luapan air ketika musim penghujan. Tinggi genangan yang terjadi adalah antara 0-15 cm. Beberapa kawasan rawan banjir yang dilewati oleh saluran tersebut adalah Manyar, Klampis, dan JL. Arif Rahman Hakim. Daerah-daerah tersebut merupakan daerah padat penduduk dan padat lalu lintas. Sehingga akan mengakibatkan keresahan pada masyarakat jika terjadi banjir, seperti misalnya kemacetan lalu lintas dan kerusakan jalan.

Dalam tugas akhir ini dilakukan perencanaan drainase pada sub sistem Kali Bokor. Pada perencanaan hidrologinya dilakukan dengan program bantu HEC-HMS dengan meninjau tata guna lahan DAS Kali Bokor. Hasil dari HEC-HMS akan dijadikan dasar dalam merencanakan hidrolika saluran ini. Perencanaan hidrolika dilakukan dengan program bantu HEC-RAS.

Berdasarkan hasil analisa didapatkan bahwa untuk mengatasi banjir yang ada, lebar rencana saluran Kali Bokor untuk bagian hulu sebesar 15 m. Sedangkan bagian hilirnya sebesar 35 m dengan tinggi saluran 2,5 m. Kolam tampungan yang direncanakan seluas 100 m². Kolam tampung ini dilengkapi dengan pompa dan pintu air untuk memperbesar kapasitas tampungan. Jumlah pompa dan pintu yang digunakan, yakni 4 pompa dan 4 pintu.

Kata kunci – Drainase, HEC-HMS, HEC-RAS, Kali Bokor.

banyaknya endapan sedimen dan sampah di dalam saluran. Beberapa kawasan rawan banjir yang dilewati oleh saluran tersebut adalah Manyar, Klampis, dan JL. Arif Rahman Hakim. Daerah-daerah tersebut merupakan daerah padat penduduk dan padat lalu lintas. Sehingga akan mengakibatkan keresahan pada masyarakat jika terjadi banjir, seperti misalnya kemacetan lalu lintas dan kerusakan jalan.

Oleh karena terjadi banjir pada saluran Kalibokor maka diperlukan perencanaan sistem saluran drainase Kalibokor menggunakan pemodelan hidrologi program bantu HEC-HMS dan dari sisi hidrolika dimodelkan dengan program bantu HEC-RAS. Perencanaan ini diharapkan mampu menjadi alternatif solusi untuk mengatasi banjir di daerah tersebut. Sehingga genangan yang terjadi pada musim penghujan dapat dikurangi secara signifikan.



Gambar 1. Peta Lokasi Studi

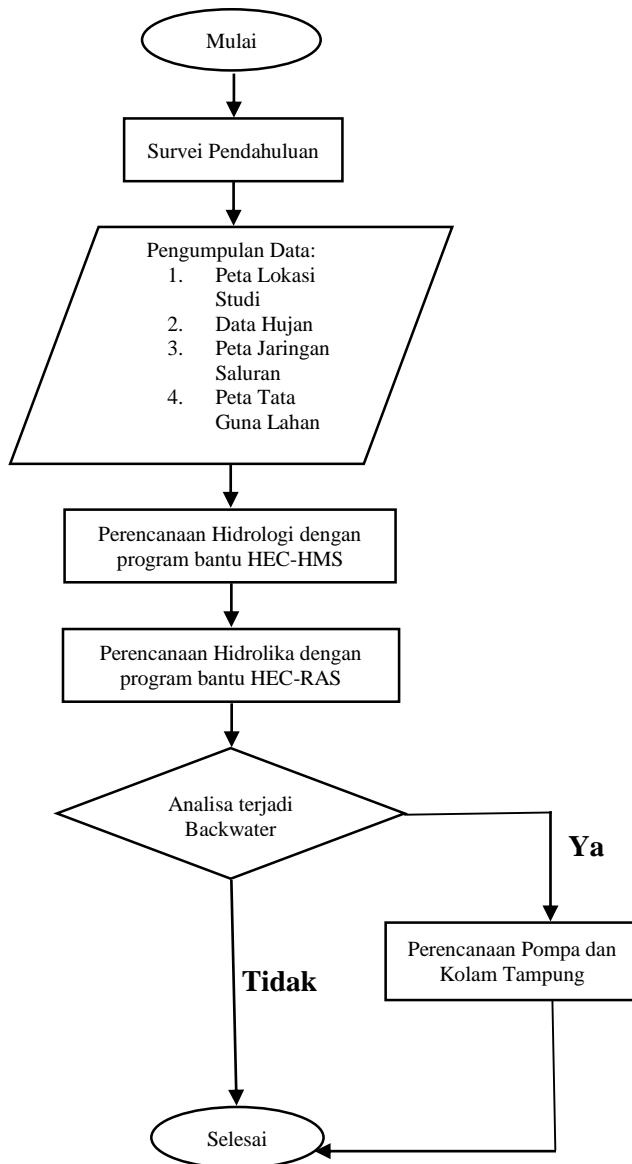
I. PENDAHULUAN

Surabaya merupakan salah satu kota besar di Indonesia. Jumlah penduduk yang besar dan keadaan kota semakin modern, membuat perubahan tata guna lahan terbuka hijau menjadi bangunan hunian dan gedung perkantoran. Hal ini dapat mengakibatkan beberapa macam permasalahan. Salah satunya masalah terhadap banjir.

Surabaya memiliki banyak saluran, dari saluran berdimensi besar hingga kecil. Saluran Kalibokor adalah salah satu saluran tipe primer di Surabaya Timur. Saluran ini mengalami luapan air ketika musim penghujan. Tinggi genangan yang terjadi adalah antara 0-15 cm. Beberapa penyebabnya karena curah hujan yang tinggi di Surabaya sehingga saluran tidak dapat menampung air hujan dengan baik. Ruang terbuka hijau yang berubah fungsi menjadi kawasan permukiman dan perkantoran mengakibatkan penyerapan air hujan ke dalam tanah berkurang. Saluran drainase yang mengalami penurunan kapasitas pengaliran karena

II. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Diagram Alir Metodologi Perencanaan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi diperlukan untuk dapat mengetahui secara detail parameter-parameter hidrologi : karakteristik hujan, menganalisis hujan rancangan dan analisis debit rencana untuk dapat merancang saluran air^[1].

1. Distribusi Hujan Wilayah

Terdapat empat stasiun hujan yang berpengaruh terhadap kawasan DAS Kali Bokor, dan didapatkan 2 stasiun hujan, yakni stasiun hujan Wonokromo dan stasiun hujan Keputih. Koefisien Thiessen dan Luas Daerah Pengaruh pada Tabel 1. Kemudian dicari curah hujan rata-rata maksimum sebagai hasil distribusi hujan. Dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Luas Daerah Pengaruh dan Koefisien Thiessen Stasiun Hujan

Nama Stasiun Hujan	Luas Daerah Pengaruh Stasiun (m ²)	Koefisien Thiessen
Wonokromo	4.341	0.139711
Keputih	26.731	0.860289
Total Luas	31.072	

Tabel 2. Curah Hujan Rata – Rata Maksimum

Tahun	Rmax (mm)
2005	104.1322
2006	134.4116
2007	111.7716
2008	81.61737
2009	117.7646
2010	92.79421
2011	80.79421
2012	82.20579
2013	80.97797
2014	126.8748

2. Perhitungan Parameter Statistik

Untuk menyelidiki susunan data kuantitatif dari sebuah variabel hidrologi, maka akan sangat membantu apabila mendefinisikan setiap parameter statistik yang ada^[1]. Perhitungan parameter statistik untuk distribusi Normal dan Gumbel Tipe I dapat dilihat Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Parameter Statistik Untuk Distribusi Normal dan Gumbel Tipe I

Tahun	Rmax (Xi)	Xi - Xbar	(Xi - Xbar) ²	(Xi - Xbar) ³	(Xi - Xbar) ⁴
2005	104.132	2.798	7.83	21.899	61.267
2006	134.412	33.077	1094.10	36189.655	1197050.844
2007	111.772	10.437	108.93	1136.954	11866.536
2008	81.617	-19.717	388.76	-7665.248	151136.118
2009	117.765	16.430	269.95	4435.363	72873.941
2010	92.794	-8.540	72.94	-622.882	5319.547
2011	80.794	-20.540	421.90	-8665.922	177999.880
2012	82.206	-19.129	365.90	-6999.256	133886.206
2013	80.978	-20.356	414.39	-8435.408	171714.953
2014	126.875	25.540	652.31	16660.191	425506.928
Total	1013.344		3797.01	26055.347	2347416.221
Xbar	101.334				

$$\bar{X} = \frac{1013.344}{10} = 101.334$$

$$S = \sqrt{\frac{3797.01}{10 - 1}} = 20.539$$

$$CV = \frac{20.539}{101.334} = 0.202$$

$$CS = \frac{10 \times 26055.347}{(10-1)(10-2)20.539^3} = 0.417$$

$$CK = \frac{10^2 \times 2347416.221}{(10-1)(10-2)(10-3)20.539^4} = 2.616$$

Perhitungan parameter statistik untuk distribusi Log Pearson Tipe III dan Log Normal dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Parameter Statistik Untuk Distribusi Log Pearson Tipe III dan Log Normal

Tahun	Rmax	Log R	Log (Xi-Xbar)	Log (Xi-Xbar)^2	Log (Xi-Xbar)^3	Log (Xi-Xbar)^4
2005	104.132	2.017585	0.01972	0.000388692	7.66316E-06	1.51081E-07
2006	134.412	2.128437	0.13057	0.017047764	0.002225877	0.000290626
2007	111.772	2.048331	0.05046	0.002546381	0.000128495	6.48406E-06
2008	81.617	1.911783	-0.08609	0.007410974	-0.000637989	5.49225E-05
2009	117.765	2.071015	0.07315	0.005350232	0.000391344	2.8625E-05
2010	92.794	1.967521	-0.03035	0.000921044	-2.79525E-05	8.48323E-07
2011	80.794	1.90738	-0.09049	0.008188323	-0.000740956	6.70486E-05
2012	82.206	1.914902	-0.08297	0.006883555	-0.000571109	4.73833E-05
2013	80.978	1.908367	-0.08950	0.008010731	-0.000716982	6.41718E-05
2014	126.875	2.103375	0.10551	0.011131441	0.00117443	0.000123909
Total		19.9787		0.067879138	0.00123282	0.00068417
Log Xbar		1.99787				

$$\text{Log } \bar{X} = \frac{19.9787}{10} = 1.99787$$

$$S = \sqrt{\frac{0.067879}{10-1}} = 0.0868$$

$$CV = \frac{0.0868}{1.997} = 0.0434$$

$$CS = \frac{10 \times 0.00123}{(10-1)(10-2)0.0868^3} = 0.261$$

$$CK = \frac{20^2 \times 0.00068}{(10-1)(10-2)(10-3)0.0868^4} = 2.386$$

Dari parameter – parameter diatas, dipilih jenis distribusi yang sesuai untuk digunakan dalam tugas akhir ini. Pemilihan jenis distribusi yang sesuai dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Pemilihan Jenis Distribusi yang Sesuai

Jenis Distribusi	Syarat	Hasil	Keterangan
Normal	Cs = 0	Cs = 0,079	Tidak Memenuhi
	Ck = 3		
Gumbel Tipe I	Cs ≤ 1,1396	Ck = 2,535	Memenuhi
	Ck ≤ 5,4002		
Log Pearson Tipe III	Cs ≠ 0	Cs = -0,058	Memenuhi
Log Normal	Cs = 3	Ck = 2,537	Tidak Memenuhi
	Ck = 5,383		

Pada tabel 5, dapat dilihat bahwa terdapat 2 jenis distribusi yang dapat digunakan. Dari kedua jenis distribusi tersebut dilakukan uji kecocokan yaitu uji Chi Kuadrat dan uji Smirnov – Kolmogorov untuk menentukan distribusi mana yang paling cocok untuk digunakan^[1]. Rekapitulasi uji Chi Kuadrat dan uji Smirnov – Kolmogorov untuk distribusi Gumbel Tipe I dan Log Pearson Tipe III dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi Uji Kecocokan

Distribusi	Uji Chi Kuadrat				Uji Smirnov Kolmogorov			
	X ₀ ²		X ₀	Ket.	D _{max}		Do	Ket.
Gumbel Tipe I	3	<	5.991	OK	0.074	<	0.41	OK
Pearson Tipe III	3	<	5.991	OK	0.083	<	0.41	OK

Kesimpulan yang didapat dari Tabel 6 bahwa jenis distribusi yang dapat digunakan untuk perhitungan hujan rencana boleh menggunakan distribusi Gumbel Tipe 1 ataupun Log Pearson tipe III. Hal ini dikarenakan kedua distribusi tersebut memenuhi dari Uji Chi Square maupun Kolmogorov. Dalam tugas akhir ini akan digunakan distribusi Gumbel Tipe I. Berikut pada Tabel 7 adalah hasil perhitungan hujan rencana dengan menggunakan distribusi Gumbel Tipe I.

Tabel 7. Tinggi Hujan pada jam ke-t

Rt	PUH		Rt'	PUH	
	2	5		2	5
Jam	mm		Jam	mm	
1	62,08	84,26	1	62,08	84,26
2	39,11	53,08	2	16,13	21,9
3	29,85	40,51	3	11,31	15,36
4	24,64	33,44	4	9,01	12,23

3. Analisa Debit

Setelah diketahui nilai hujan per jam, selanjutnya adalah melakukan analisa debit. Analisa debit dimaksudkan untuk menghitung besarnya debit banjir rencana yang terjadi yang nantinya akan digunakan untuk perencanaan kapasitas saluran. Dalam tugas akhir ini, digunakan program bantu HEC-HMS untuk memperoleh debit banjir pada setiap saluran.

Dalam tugas akhir ini digunakan metode *SCS-Curve Number*. Metode ini mengembangkan parameter *curve number* empiris yang mengasumsikan berbagai faktor dari lapisan tanah, tata guna lahan, dan porositas untuk menghitung total limpasan curah hujan^[2]. Parameter yang dibutuhkan sebagai data inputannya meliputi : tinggi hujan, nilai *impervious* (kedap air), nilai *curve number* (serap air), nilai rata-rata kemiringan lahan, time lag. Output dari program HEC-HMS adalah debit banjir pada masing-masing saluran, digunakan periode ulang 2 tahunan untuk merencanakan saluran tersier dan 5 tahunan untuk saluran primer dan sekunder. Berikut beberapa contoh debit puncak saluran tersier DAS Kali Bokor.

Tabel 8. Debit Saluran Tersier DAS Kali Bokor

Kode Saluran	Q _{hidrologi} (m ³ /s)	Kode Saluran	Q _{hidrologi} (m ³ /s)
T1	1.1	T35	0.3
T2	1.1	T36	0.9
T3	0.5	T37	0.5
T4	0.4	T38	0.4
T5	0.3	T39	0.5
T6	0.5	T40	0.7
T7	0.4	T41	0.5
T8	0.8	T42	0.5
T9	0.6	T43	0.4

Kode Saluran	Q _{hidrologi} (m ³ /s)
T10	0.9
T11	0.2
T12	0.4
T13	0.5
T14	0.5
T15	0.3
T16	0.8
T17	0.3
T18	0.6
T19	0.9
T20	0.5
T21	0.7
T22	0.4
T23	0.3
T24	0.8
T25	0.7
T26	0.9
T27	0.8
T28	0.5
T29	0.8
T30	0.5
T31	0.7
T32	1
T33	0.7
T34	0.2

Kode Saluran	Q _{hidrologi} (m ³ /s)
T44	0.6
T45	1.4
T46	0.6
T47	1
T48	0.7
T49	0.4
T50	0.4
T51	0.5
T52	0.2
T53	0.2
T54	0.5
T55	0.7
T56	0.2
T57	0.7
T58	0.3
T59	0.7
T60	0.7
T61	1
T62	1.1
T63	1
T64	1
T65	2.2
T66	1.2
T67	1.3
T68	2.3

Nama Saluran	Nama Produk
T2	Tipe 41
T3	Tipe 32
T4	Tipe 31
T5	Tipe 27
T6	Tipe 31
T7	Tipe 31
T8	Tipe 32
T9	Tipe 32
T10	Tipe 39
T11	Tipe 27
T12	Tipe 31
T13	Tipe 31
T14	Tipe 32
T15	Tipe 27
T16	Tipe 39
T17	Tipe 27
T18	Tipe 32
T19	Tipe 39
T20	Tipe 32
T21	Tipe 35
T22	Tipe 31
T23	Tipe 27
T24	Tipe 35
T25	Tipe 35
T26	Tipe 39
T27	Tipe 35
T28	Tipe 32
T29	Tipe 35
T30	Tipe 31
T31	Tipe 35
T32	Tipe 39
T33	Tipe 35
T34	Tipe 27

Nama Saluran	Nama Produk
T36	Tipe 39
T37	Tipe 32
T38	Tipe 31
T39	Tipe 32
T40	Tipe 35
T41	Tipe 32
T42	Tipe 31
T43	Tipe 31
T44	Tipe 35
T45	Tipe 43
T46	Tipe 35
T47	Tipe 39
T48	Tipe 35
T49	Tipe 31
T50	Tipe 31
T51	Tipe 32
T52	Tipe 27
T53	Tipe 27
T54	Tipe 31
T55	Tipe 35
T56	Tipe 27
T57	Tipe 32
T58	Tipe 27
T59	Tipe 32
T60	Tipe 35
T61	Tipe 39
T62	Tipe 40
T63	Tipe 39
T64	Tipe 39
T65	Tipe 42
T66	Tipe 41
T67	Tipe 43
T68	Tipe 42

B. Analisa Hidrolika

Analisa Hidrolika ialah analisa kapasitas penampang saluran terhadap debit banjir yang terjadi^[3]. Dalam tugas akhir ini akan direncanakan saluran dengan 2 cara, perhitungan dengan manual untuk saluran tersier dan perhitungan dengan menggunakan program bantu HEC-RAS untuk saluran sekunder dan primer.

1. Analisa Penampang Saluran Tersier

Saluran tersier pada DAS Kali Bokor akan direncanakan menggunakan *box culvert*. Hal ini dimaksudkan untuk memberikan ruang pada daerah yang dilalui oleh saluran tersier, karena kondisi yang ada, saluran tersier sebagian besar berada pada pemukiman yang padat. Saluran tersier direncanakan menggunakan *box culvert* pabrikan^[4]. Perhitungan dimensi saluran tersier dilakukan dengan menggunakan rumus debit hidrolika^[5]:

$$Q = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \times A$$

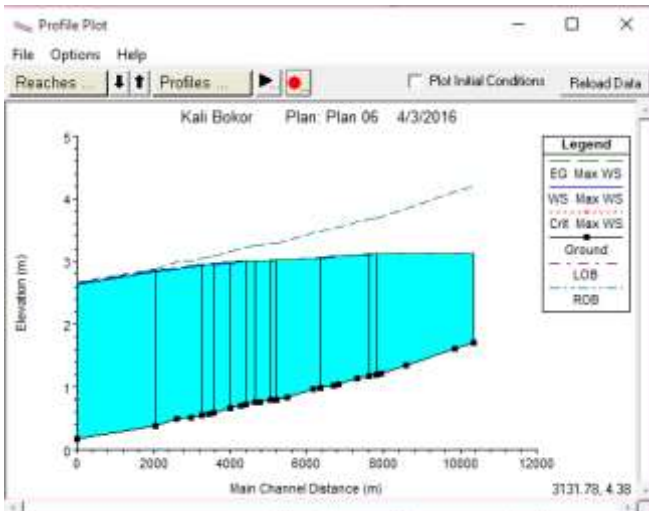
Didapatkan perhitungan hidrolika dimensi *box culvert* yang dipakai untuk saluran tersier sesuai dengan debit puncaknya pada Tabel 9.

Tabel 9. Perencanaan Tipe Box Culvert Saluran Tersier

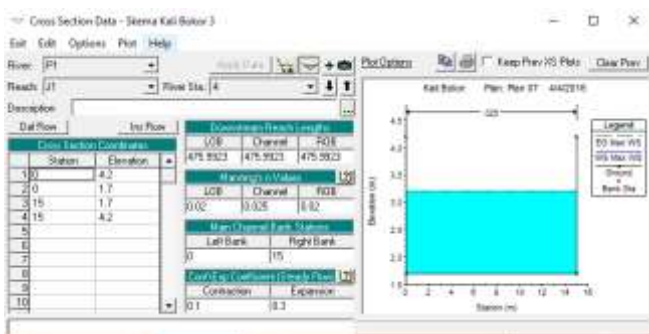
Nama Saluran	Nama Produk	Nama Saluran	Nama Produk
T1	Tipe 40	T35	Tipe 27

2. Analisa Penampang Saluran Primer dan Sekunder

Dalam merencanakan dimensi saluran primer dan sekunder, pada tugas akhir ini akan dilakukan dengan program bantu HEC-RAS. Bentuk penampang yang akan digunakan adalah persegi empat. HEC-RAS melakukan analisis hidrolika menggunakan asumsi *aliran steady* dan *unsteady* dan akan memberikan desain berdasarkan hasil analisis tersebut^[6]. Debit banjir yang diperoleh dari HEC-HMS dengan periode ulang 5 tahun akan digunakan sebagai data input untuk *unsteady flow data*. Dimensi saluran direncanakan dengan menggunakan *trial and error*^[7]. Hasil HEC-RAS dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Potongan Memanjang Saluran Primer Kali Bokor



Gambar 4. Potongan Melintang Saluran Primer Kali Bokor

Berdasarkan output HEC-RAS yang ada, didapatkan saluran primer dan sekunder pada Tabel 10.

Tabel 10. Dimensi Saluran Sekunder dan Primer

Jenis Saluran	B (m)	H (m)	Perkuatan
Primer	15	2.5	Sheet Pile
	20	2.5	Sheet Pile
	30	2.5	Sheet Pile
	35	2.5	Sheet Pile
Sekunder	5	2.5	Sheet Pile
	6	2.5	Sheet Pile
	7	2.5	Sheet Pile

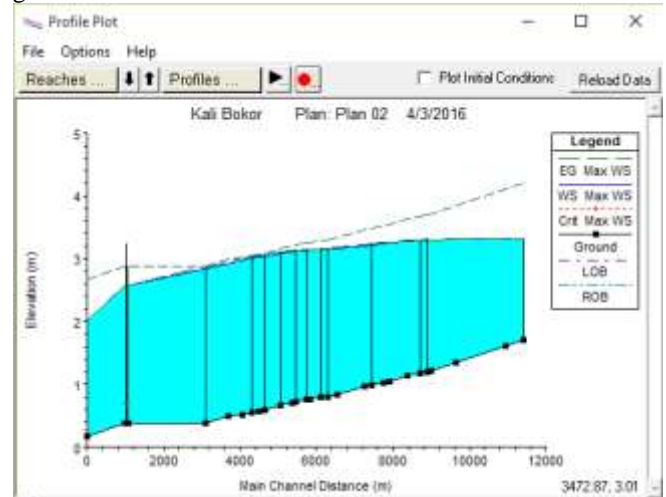
C. Bangunan Pelengkap

Perencanaan kolam tampung dilakukan sebagai salah satu solusi penyelesaian banjir yang terjadi pada saluran primer kali bokor yang belum dapat menampung debit banjir rencana^[5]. Luas kolam tampung yang direncanakan sebesar 100.000 m² dengan kedalaman 2.5 m. Dalam tugas akhir ini, analisa kolam tampung dilakukan dengan menggunakan program bantu HEC-RAS yang mana akan dilengkapi dengan rumah pompa dan pintu air.

Pada kolam tampung kali bokor ini akan direncanakan menggunakan pompa untuk membantu mengeluarkan air dari kolam ke laut. Jumlah pompa yang direncanakan sebanyak 4 buah dengan tipe pompa yang sama. Analisa pompa menggunakan program bantu HEC-RAS.

Pada kolam tampung kali bokor ini akan direncanakan menggunakan pompa untuk membantu mengeluarkan air dari kolam ke laut. Jumlah pompa yang direncanakan sebanyak 4 buah dengan tipe pompa yang sama. Analisa pompa menggunakan program bantu HEC-RAS.

Analisa terhadap kolam tampungan dengan luasan 100.000 m² dilengkapi dengan pompa air dan pintu air. Setelah memasukan parameter yang dibutuhkan, akan dianalisa oleh HEC-RAS. Hasil analisa dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Hasil HEC-RAS Kolam Tampung seluas 10 ha dengan Pompa dan Pintu

Dapat dilihat bahwa perencanaan kolam tampungan ini tidak menyebabkan terjadinya *backwater*.

IV. KESIMPULAN

1. Analisa debit banjir rencana pada DAS Kali Bokor menggunakan program bantu HEC-HMS. Hasil yang diperoleh, yaitu untuk debit maksimum saluran tersier sebesar 2,3 m³/dt, debit maksimum saluran sekunder sebesar 11,2 m³/dt, dan debit maksimum saluran primer sebesar 57,4 m³/dt.
2. Perencanaan dimensi saluran primer dan sekunder, menggunakan program bantu HEC-RAS. Saluran tersier direncanakan menggunakan *box culvert* pabrikan dan dihitung secara manual. Dimensi terbesar *box culvert* untuk saluran tersier adalah Tipe 43 yang mempunyai ukuran 2,5 m x 1,5 m. Saluran primer dari hasil analisa program didapatkan dimensi yang mencukupi sebesar 15 m di bagian hulu. Kemudian semakin ke hilir dimensi saluran bertambah menjadi 20 m hingga 35 m. untuk saluran sekunder dimensi yang mencukupi sebesar 5 – 7 m.
3. Di hilir saluran Kali Bokor terjadi *backwater* akibat air pasang air laut lebih tinggi dari muka air saluran. Sehingga perlu direncanakan kolam tampung dan pompa.
4. Perencanaan kolam tampung dan pompa di muara saluran Kali Bokor menggunakan program bantu HEC-RAS. Hasil analisa kolam tampung didapatkan luas 100 ha dengan kedalaman 2,5 m. untuk pompa dipasang sebanyak 4 buah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Soewarno. 1995. *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid 1*. Nova. Bandung.
- [2] USACE. 2000. *Hydrologic Modelling System HEC-HMS Technical Reference Manual*. Juni 2015. <http://www.hec.usace.army.mil>
- [3] Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi. Yogyakarta.
- [4] Rowiyanto, Ahmad Nur. 2016. Tugas Akhir Perencanaan Jaringan Drainase Sub Sistem Kali Wonorejo Surabaya. Surabaya: ITS
- [5] Soemarto CD. 1986. *Hidrologi Teknik*. Surabaya : Usaha Nasional.
- [6] USACE.2010. *HEC-RAS Technical Reference Manual*. USA : HEC-RAS
- [7] Istiarto. 2014. *Modul Pelatihan Pemakaian HEC-RAS*. Yogyakarta.